

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Запорізька політехніка»

МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ
для самостійної роботи з вивчення дисципліни
«Smart-технології в машинобудуванні»

для студентів спеціальності
G9 «Прикладна механіка»
освітньої програми **«Технології машинобудування»**
галузі знань «Механічна інженерія»

Методичні рекомендації для самостійної роботи з вивчення дисципліни «Smart-технології в машинобудуванні» для студентів всіх форм навчання спеціальності G9 «Прикладна механіка» спеціалізації «Технології машинобудування» галузі знань G «Інженерія, виробництво та будівництво» / Укл. П.Р.Тришин – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2025. – 24 с.

Укладач: П.Р.Тришин, PhD, доц. каф. ТМБ.

Рецензент: Н.В.Гончар, канд.техн.наук, доц. каф. ТМБ

Відповідальний за
випуск С.І. Дядя, канд.техн.наук, доц. каф. ТМБ

Затверджено
на засіданні кафедри ТМБ
протокол №1
від 06.08.2025р.

Рекомендовано до видання НМК
машинобудівного факультету
протокол №1
від 26.08.2025р.

ЗМІСТ

Вступ	4
1 Мета і завдання дисципліни, її місце в навчальному процесі.....	5
1.1 Мета вивчення дисципліни	5
1.2 Завдання вивчення дисципліни	5
1.3 Перелік дисциплін, засвоєння яких є необхідним для вивчення дисципліни	6
2 Робоча програма дисципліни	7
2.1 Назва та зміст тем дисципліни, методичні вказівки до їх вивчення	7
2.2 Перелік лабораторних занять та їх тривалість.....	12
2.3 Контрольні питання	12
3 Контрольні заходи з перевірки якості засвоєння навчального матеріалу дисципліни	18
4 Рекомендована література	20
4.1 Основна література	20
4.2 Додаткова література	21
4.3 Навчально-методична література	22
4.4 Інформаційні ресурси	22

ВСТУП

Дисципліна «Smart-технології в машинобудуванні» необхідна для надання знань з таких сучасних напрямів:

- Гібридне виробництво,
- Застосування генеративного дизайну у машинобудуванні,
- Зворотній інжиніринг,
- 3D-сканування,
- Адитивні технології,
- 4D-друк.

А також для ознайомлення з відповідним програмним забезпеченням, що використовується для 3D-моделювання та розробки керуючих програм друку 3D-об'єктів. Це забезпечує якісну підготовку фахівця за спеціальністю G9 «Прикладна механіка».

Термін, що передбачений робочим планом на аудиторні заняття з дисципліни, катастрофічно не дає можливості у необхідному обсязі викласти передбачений навчальний матеріал. Тому добра частина робочої навчальної програми дисципліни може не викладатися на аудиторних заняттях, що передбачає її самостійне вивчення. До того ж, і той матеріал, що викладається в аудиторії, теж повинен бути закріпленний шляхом самостійної роботи студента.

Мета методичних рекомендацій полягає в наступному:

- ознайомити студентів з повним обсягом навчального матеріалу з дисципліни, який він повинен засвоїти, в тому числі і з тою частиною, яка повністю виноситься на самостійне вивчення;
- навести необхідну навчальну літературу по кожній тематиці дисципліни;
- надати методичні вказівки та контрольні питання для самоперевірки знань;
- ознайомити студентів з заходами контролю засвоєння навчального матеріалу в умовах сучасної системи організації навчального процесу.

1 МЕТА І ЗАВДАННЯ ДИСЦИПЛІНИ, ЇЇ МІСЦЕ В НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ

1.1 Мета вивчення дисципліни

Метою вивчення дисципліни «Smart-технології в машинобудуванні» є формування у студентів знань та практичних навичок щодо сучасних цифрових і інноваційних технологій у машинобудуванні, зокрема гібридного виробництва, генеративного дизайну, зворотного інжинірингу, 3D-сканування, адитивних і 4D-технологій, а також засвоєння програмних засобів для 3D-моделювання та створення керуючих програм.

Дисципліна є профільною та обов'язковою для підготовки фахівців спеціальності G9 «Прикладна механіка» освітньої програми «Технології машинобудування».

1.2 Завдання вивчення дисципліни

Знання, які студенти отримують при вивченні цієї дисципліни використовуються для виконання дипломної роботи. Також ці базові знання студенти використовують для майбутньої роботи на підприємствах машинобудівної галузі.

Навчальні заняття курсу складаються з лекцій, лабораторних робіт. На лекціях викладається основний зміст курсу. Теоретичні знання студенти закріплюють, виконуючи загальні завдання.

Успішне засвоєння матеріалів даної дисципліни студентами сприяє покращенню підготовки спеціалістів та скороченню строків їх адаптації на виробництві.

Головним завданням вивчення цієї дисципліни є формування у студентів цілісного уявлення про сучасні smart-технології в машинобудуванні та набуття практичних навичок їх застосування у проєктуванні й виробництві. А також засвоєння студентами знань і практичних методів роботи з гібридним виробництвом, адитивними технологіями, генеративним дизайном, 3D-скануванням і зворотним інжинірингом.

Викладання цієї дисципліни забезпечує знання про:

- сучасні тенденції розвитку smart-технологій у машинобудуванні;
- принципи гібридного виробництва та адитивних технологій;
- основи генеративного дизайну та його застосування для оптимізації конструкцій;
- матеріали для 3D-друку,
- сучасне обладнання для виготовлення 3D-деталей;
- методи зворотного інжинірингу та 3D-сканування;
- можливості 4D-друку та перспективи його використання;
- програмні засоби для 3D-моделювання та розробки керуючих програм друку виробів.

Вивчення цієї дисципліни виробляє уміння:

- застосовувати сучасні smart-технології у процесах проєктування та виготовлення виробів;
- виконувати 3D-моделювання та створювати керуючі програми для 3D-

- друку;
- використовувати методи генеративного дизайну для оптимізації конструкцій;
- здійснювати зворотний інжиніринг і 3D-сканування об'єктів;
- інтегрувати адитивні й традиційні методи виробництва в єдиний технологічний процес;

Свої знання студенти повинні вільно висловлювати як у письмовій, так і в усній формі.

1.3 Перелік дисциплін, засвоєння яких є необхідним для вивчення дисципліни

Для успішного вивчення цієї дисципліни студенти повинні отримати знання наступних фундаментальних та загальноінженерних дисциплін: вища математика; фізика; інженерна графіка та нарисна геометрія; матеріалознавство, технологія машинобудування.

2 РОБОЧА ПРОГРАМА ДИСЦИПЛІНИ

Кількість годин на лекційні, лабораторні заняття, на самостійну роботу студента при вивченні кожної теми надано у розділі 3 в таблиці 3.1.

2.1 Назва та зміст тем дисципліни, методичні вказівки до їх вивчення

2.1.1 Застосування генеративного дизайну у машинобудуванні

Тема «Застосування генеративного дизайну у машинобудуванні» висвітлює: принципи генеративного проектування; алгоритмічні основи та зв'язок із топологічною оптимізацією; постановку вхідних параметрів та процес створення конструкцій; приклади застосування у машинобудуванні; інтеграцію з адитивними технологіями; основні переваги та виклики впровадження.

Методичні вказівки

При розгляді теми «Застосування генеративного дизайну у машинобудуванні» звернути увагу на принципи роботи генеративних алгоритмів, постановку вхідних параметрів і обмежень, відмінності від традиційного проектування, приклади практичного застосування у машинобудуванні та поєднання з адитивними технологіями. [20], [21], [36], [42], [43], [44], [45], [46], [47], [48], [49]

Питання для самоперевірки

1. Що є основною метою використання генеративного дизайну у машинобудуванні?
2. Які технології найчастіше використовуються разом із генеративним дизайном у машинобудуванні?
3. Який з наведених факторів НЕ є вхідним параметром для генеративного дизайну?
4. Яка перевага генеративного дизайну у порівнянні з традиційним конструкторським підходом?
5. Який програмний продукт найчастіше використовується для генеративного дизайну у машинобудуванні?

2.1.2 3D-сканування

Тема «3D-сканування» висвітлює: принципи роботи та види 3D-сканерів; методи отримання цифрових моделей об'єктів; етапи обробки та редагування сканованих даних; застосування у машинобудуванні та зворотному інжинірингу; інтеграцію з CAD/CAM системами; основні переваги та обмеження технології.

Методичні вказівки

При розгляді теми «3D-сканування» треба ознайомитись і засвоїти поняття про принципи роботи та види 3D-сканерів, методи отримання та обробки цифрових моделей, інтеграцію результатів сканування з CAD/CAM-системами та застосування технології у зворотному інжинірингу й машинобудуванні. [22], [23], [36]

Питання для самоперевірки

1. Що таке 3D-сканування?
2. Який тип 3D-сканера використовує лазер для вимірювання відстані до поверхні об'єкта?

3. Яке з наведених застосувань є типовим для 3D-сканування у машинобудуванні?

4. Який фактор найбільше впливає на точність 3D-сканування?

5. Який формат файлу найчастіше використовується для збереження результатів 3D-сканування?

2.1.3 Зворотній інжиніринг

Тема «Зворотній інжиніринг» висвітлює: сутність та етапи процесу; методи отримання геометричних даних виробу; використання 3D-сканування та CAD-моделювання; відтворення та модифікацію конструкцій; застосування у модернізації та ремонті деталей; переваги й обмеження технології.

Методичні вказівки

При розгляді теми «Зворотній інжиніринг» звернути увагу на етапи відтворення геометрії виробів, методи отримання даних за допомогою 3D-сканування, використання CAD-моделювання для створення цифрових копій, можливості модернізації та вдосконалення конструкцій, а також практичне застосування у ремонті й виробництві деталей.

[1], [2], [36]

Питання для самоперевірки

1. Що таке зворотній інжиніринг у контексті машинобудування?
2. Який етап є першим у процесі зворотного інжинірингу?
3. Яке обладнання найчастіше використовується для отримання геометрії об'єкта при зворотному інжинірингу?
4. Яка мета створення CAD-моделі в процесі зворотного інжинірингу?
5. Основне застосуванням зворотного інжинірингу?

2.1.4 Адитивні технології у машинобудуванні

Тема «Адитивні технології у машинобудуванні» висвітлює: принципи адитивного виробництва; основні методи та процеси 3D-друку; матеріали для друку та їхні властивості; етапи підготовки цифрової моделі та виготовлення деталей; застосування у проектуванні, прототипуванні та серійному виробництві; переваги й обмеження технологій.

Методичні вказівки

При розгляді теми «Адитивні технології у машинобудуванні» звернути увагу на принципи формування виробів пошаровим методом, класифікацію технологій 3D-друку, матеріали та їх властивості, етапи підготовки цифрової моделі, поєднання з генеративним дизайном, а також переваги й обмеження застосування у сучасному виробництві.

[3], [4], [11], [12], [36], [28], [34], [33], [32], [30]

Питання для самоперевірки

1. Які нагальні проблеми сьогодення можливо вирішити за допомогою адитивних технологій?
2. Наведіть приклади застосування адитивних технологій у різних галузях промисловості та сферах людського життя.
3. Проаналізуйте перспективи розвитку адитивних технологій в Україні.

4. У чому полягають особливості застосування 3D принтерів на виробництві та у побуті?

5. У чому полягають відмінності субтрактивних та адитивних технологій? Наведіть приклади.

2.1.5 Історія виникнення 3D-друку

В даній темі розглядається термінологія та основні поняття, історія створення та використання людством адитивних технологій, класифікація та загальна характеристика адитивних технологій, сучасна адитивна технологія – 3D-друк. Історія виникнення та розвитку 3D-принтерів, класифікація технологій 3D-друку, промислові та побутові 3D-принтери.

Методичні вказівки

При розгляді теми «Історія виникнення 3D-друку» звернути увагу на етапи розвитку адитивних технологій, ключові винаходи та патенти, появу перших промислових зразків обладнання, розвиток основних методів 3D-друку, а також вплив цієї технології на сучасне машинобудування.

[5], [6], [9], [10], [36]

Питання для самоперевірки

1. Хто вважається винахідником першої технології 3D-друку?
2. У якому році було запатентовано технологію стереолітографії?
3. Яка компанія першою комерціалізувала 3D-друк?
4. Яка технологія 3D-друку була першою, що використовувала фотополімери?
5. Яке значення мала поява FDM для розвитку доступного 3D-друку?

2.1.6 Класифікація технологій 3D-друку

Тема «Класифікація технологій 3D-друку» висвітлює: основні принципи адитивного виробництва; класифікацію за способом формування шарів; основні технології (FDM/FFF, SLA, DLP, SLS, SLM, EBM, Binder Jetting, Material Jetting тощо); особливості матеріалів для кожної технології; сфери застосування у машинобудуванні; переваги та обмеження різних методів друку.

Методичні вказівки

При розгляді теми «Класифікація технологій 3D-друку» звернути увагу на принципи поділу методів адитивного виробництва, основні технології (FDM, SLA, SLS, SLM, EBM, Binder Jetting, Material Jetting тощо), використовувані матеріали та сфери застосування, а також їхні переваги й обмеження.

[8], [13], [36], [33], [34], [32], [30]

Питання для самоперевірки

1. Яка технологія 3D-друку використовує лазер для затвердіння фотополімерної смоли?
2. Яка технологія базується на спіканні порошкових матеріалів за допомогою лазера?
3. Яка технологія є найпоширенішою серед домашніх користувачів?
4. Яка технологія використовує електронний промінь для плавлення металевого порошку?

5. Яка технологія забезпечує найвищу точність і деталізацію серед наведених?

2.1.7 Технологія стереолітографії

Тема «Технологія стереолітографії» висвітлює: принципи формування виробів із рідких фотополімерів під дією лазера або УФ-випромінювання; обладнання та матеріали, що застосовуються; етапи процесу друку та подальшої обробки моделей; точність і якість отриманих виробів; сфери застосування у машинобудуванні та прототипуванні; переваги й обмеження технології.

Методичні вказівки

При розгляді теми «Технологія стереолітографії» звернути увагу на принцип формування виробів із рідких фотополімерів під дією лазера чи УФ-випромінювання, обладнання та матеріали, етапи процесу друку і подальшої обробки моделей, а також переваги, обмеження та сфери застосування цієї технології.
[3], [4], [16], [28], [36]

Питання для самоперевірки

1. Що таке стереолітографія у контексті адитивного виробництва?
 2. Який тип матеріалу використовується у процесі стереолітографії?
 3. Яке джерело енергії застосовується для затвердіння фотополімеру в стереолітографії?
 4. Яка перевага стереолітографії порівняно з іншими методами 3D-друку?
 5. У яких галузях найчастіше застосовується технологія стереолітографії?
- Проаналізуйте спосіб 3D друку з застосуванням SLA технології.
6. Проаналізуйте основні операції 3D друку деталей з застосуванням SLA технології.

2.1.8 Метод селективного лазерного спікання

Тема «Метод селективного лазерного спікання» висвітлює: принцип дії та особливості формування виробів шляхом спікання порошкових матеріалів лазерним променем; обладнання та використовувані матеріали (метали, полімери, композити); етапи процесу друку; можливості виготовлення міцних та функціональних деталей складної геометрії; застосування у машинобудуванні, авіаційній та медичній галузях; основні переваги й обмеження технології.

Методичні вказівки

При розгляді теми «Метод селективного лазерного спікання» звернути увагу на принцип формування виробів шляхом спікання порошкових матеріалів лазерним променем, особливості обладнання та типи матеріалів, етапи технологічного процесу, можливості виготовлення міцних деталей складної геометрії, а також переваги й обмеження методу.
[3], [4], [16], [33], [36]

Питання для самоперевірки

1. Що таке метод селективного лазерного спікання (SLS) у контексті адитивного виробництва?
2. Які матеріали найчастіше використовуються у процесі селективного лазерного спікання?
3. Яке джерело енергії застосовується для спікання порошку в методі SLS?

4. Яка перевага методу SLS порівняно з іншими технологіями 3D-друку?
5. У яких галузях найчастіше застосовується метод селективного лазерного спікання?

2.1.9 Метод пошарового наплавлення

Тема «Метод пошарового наплавлення» висвітлює: принцип формування виробів шляхом екструзії розплавленого матеріалу через сопло; обладнання та види матеріалів (пластики, композити, метали); етапи процесу друку; особливості створення прототипів і функціональних деталей; застосування у машинобудуванні та суміжних галузях; основні переваги й обмеження технології.

Методичні вказівки

При розгляді теми «Метод пошарового наплавлення» звернути увагу на принцип екструзії розплавленого матеріалу через сопло, обладнання та використовувані матеріали, етапи формування виробів, особливості створення прототипів і функціональних деталей, а також переваги й обмеження цієї технології.

[3], [4], [5], [6], [28], [36]

Питання для самоперевірки

1. Що таке метод пошарового наплавлення і як він працює?
2. Які матеріали найчастіше використовуються у пошаровому наплавленні?
3. Яке джерело енергії зазвичай застосовується для наплавлення матеріалу?
4. У яких галузях промисловості найчастіше використовується метод пошарового наплавлення?
5. Яка перевага пошарового наплавлення порівняно з іншими методами адитивного виробництва?

2.1.10 Технологія струменевої полімеризації

Тема «Технологія струменевої полімеризації» висвітлює: принцип формування виробів шляхом нанесення рідкого фотополімеру та його затвердіння; обладнання та матеріали; етапи процесу друку; точність та якість поверхні виробів; приклади застосування у машинобудуванні; переваги та обмеження технології.

Методичні вказівки

При розгляді теми «Технологія струменевої полімеризації» звернути увагу на принцип формування виробів шляхом нанесення рідкого фотополімеру та його затвердіння УФ-випромінюванням, особливості обладнання та матеріалів, етапи процесу друку, можливість отримання високої точності та гладкої поверхні, а також переваги, обмеження й сфери застосування технології.

[3], [4], [5], [6], [30], [36]

Питання для самоперевірки

1. Що таке технологія струменевої полімеризації у контексті 3D-друку?
2. Який тип світла зазвичай використовується для полімеризації матеріалу у струменевому друці?
3. Які матеріали найчастіше застосовуються у струменевій полімеризації?
4. Яка перевага струменевої полімеризації порівняно з іншими методами адитивного виробництва?
5. У яких галузях найчастіше використовується технологія струменевої поліме-

ризації?

2.1.11 Матеріали для 3D-друку.

В даній темі розглянуті полімерні та металеві матеріали використуванні для 3D-друку, механічні властивості даних матеріалів.

Методичні вказівки

При вивченні цієї теми необхідно звернути увагу на матеріали, які використуються для 3D-друку. В цій темі необхідно зрозуміти їх механічні властивості. Ознайомитись і засвоїти поняття полімерних та металовмісних матеріалів.

[3], [4], [5], [6], [7], [35], [36]

Питання для самоперевірки

1. Проаналізуйте властивості фотополімерних матеріалів та деталей, що з них надруковані.
2. Проаналізуйте властивості матеріалів та деталей, що виготовлені за SLS та SLA технологіями.
3. Назвіть та проаналізуйте властивості матеріалів та деталей, що надруковані за допомогою LOM технології.
4. Назвіть найбільш поширені пластики для FDM технології.
5. Проаналізуйте механічні, фізичні, хімічні та інші властивості пластиків для FDM технології.
6. Проаналізуйте способи 3D друку різними матеріалами. У чому полягають їх особливості, переваги та недоліки?

2.1.12 Застосування 3D-друку.

Використання 3D-друку в сучасній медицині, аерокосмічному виробництві, військовому виробництві, автомобілебудуванні.

Методичні вказівки

При розгляді цієї теми звернути увагу на використання 3D-друку в сучасній медицині. Звернути увагу на те, що 3D-друк використовують в аерокосмічному виробництві. Також звернути увагу на застосування 3D-друку в військовому виробництві та автомобілебудуванні.

[14], [15], [17], [18], [4], [29], [36]

Питання для самоперевірки

1. У чому полягають особливості експлуатації побутових 3D принтерів?
2. Проаналізуйте переваги та недоліки будівництва будівель бетоном за допомогою 3D принтера.
3. Проаналізуйте перспективи розвитку адитивних технологій в аерокосмічній галузі.
4. У чому полягають переваги і недоліки використання адитивних технологій у різних сферах та галузях? Наведіть приклади.
5. Проаналізуйте приклади застосування адитивних технологій у таких сферах як медицина, архітектура, будівництво.

2.1.13 Гібридне виробництво

Тема «Гібридне виробництво» висвітлює: поєднання адитивних та субтрактив-

вних методів; принципи організації виробничого процесу; обладнання та матеріали; етапи виготовлення деталей; приклади застосування у машинобудуванні; переваги та обмеження технології.

Методичні вказівки

При розгляді теми «Гібридне виробництво» звернути увагу на поєднання адитивних та субтрактивних методів обробки, принципи організації процесу, обладнання та матеріали, етапи виготовлення деталей, можливості підвищення точності та ефективності виробництва, а також переваги й обмеження цієї технології.

[4], [24], [25], [36], [38], [39], [40], [41]

Питання для самоперевірки

1. Що таке гібридне виробництво?
2. Яка перевага гібридного виробництва порівняно з традиційними методами?
3. Яке обладнання найчастіше використовується для гібридного виробництва?
4. У яких галузях найчастіше застосовується гібридне виробництво?
5. Які з технологій виготовлення використовуються в гібридному виробництві?

2.1.14 4D-друк

Тема «4D-друк» висвітлює: принципи 4D-друку та матеріали з програмованою реакцією; етапи проєктування та виготовлення виробів; зміни форми та властивостей виробів під впливом зовнішніх факторів; приклади застосування у машинобудуванні та суміжних галузях; переваги та обмеження технології.

Методичні вказівки

При розгляді теми «4D-друк» звернути увагу на принципи створення виробів, здатних змінювати форму або властивості з часом під впливом зовнішніх факторів, матеріали з програмованою реакцією, етапи проєктування та виготовлення, приклади застосування у машинобудуванні та суміжних галузях, а також переваги й обмеження цієї технології.

[26], [27], [36]

Питання для самоперевірки

1. Що таке 4D-друк і чим він відрізняється від 3D-друку?
2. Які матеріали використовуються у 4D-друку для забезпечення зміни форми з часом?
3. Які зовнішні фактори можуть викликати трансформацію 4D-надрукованих об'єктів?
4. У яких галузях найчастіше застосовується технологія 4D-друку?
5. Яка головна перевага 4D-друку порівняно з традиційним 3D-друком?

2.2 Перелік лабораторних занять та їх тривалість

2.2.1 Лабораторна робота №1 – 4 години

Тема: Зворотний інжиніринг.

2.2.2 Лабораторна робота №2 – 4 години

Тема: Створення моделі шляхом 3D-сканування.

2.2.3 Лабораторна робота №3 – 4 годин**Тема:** Порівняння методів отримання 3D-моделей.**2.2.4 Лабораторна робота №4 – 4 годин****Тема:** Редагування 3D-моделі в програмі Meshmixer.**2.2.5 Лабораторна робота №5 – 4 годин****Тема:** Підготовка 3D-моделі до друку в програмі Meshmixer.**2.2.6 Лабораторна робота №6 – 4 годин****Тема:** Автоматичне та ручне створення підтримок на 3D-моделі в програмі Meshmixer.**2.2.7 Лабораторна робота №7 – 4 годин****Тема:** Створення керуючої програми для 3D-друку в програмі Repetier-Host.**2.2.8 Лабораторна робота №8 – 2 годин****Тема:** Використання штучного інтелекту в роботі інженера.**Методичні вказівки**

При підготовці до виконання лабораторних занять слід користуватися методичними вказівками [37], а також звернутися до відповідних розділів робочої програми.

2.3 Контрольні питання

При підготовці до поточного та остаточного контролю знань студент може перевірити свою готовність, відповідаючи на нижченаведені питання, які охоплюють базові положення дисципліни «Smart-технології в машинобудуванні».

1. Що є основною метою використання генеративного дизайну у машинобудуванні?
2. Які технології найчастіше використовуються разом із генеративним дизайном у машинобудуванні?
3. Який з наведених факторів НЕ є входним параметром для генеративного дизайну?
4. Яка перевага генеративного дизайну у порівнянні з традиційним конструкторським підходом?
5. Який програмний продукт найчастіше використовується для генеративного дизайну у машинобудуванні?
6. У чому полягають відмінності субтрактивних та адитивних технологій? Наведіть приклади.
7. Що таке 3D-сканування?
8. Який тип 3D-сканера використовує лазер для вимірювання відстані до пове-

рхні об'єкта?

9. Яке з наведених застосувань є типовим для 3D-сканування у машинобудуванні?

10. Який фактор найбільше впливає на точність 3D-сканування?

11. Який формат файлу найчастіше використовується для збереження результатів 3D-сканування?

12. Що таке зворотній інжиніринг у контексті машинобудування?

13. Який етап є першим у процесі зворотного інжинірингу?

14. Яке обладнання найчастіше використовується для отримання геометрії об'єкта при зворотному інжинірингу?

15. Яка мета створення CAD-моделі в процесі зворотного інжинірингу?

16. Основне застосуванням зворотного інжинірингу?

17. Що таке гібридне виробництво?

18. Яка перевага гібридного виробництва порівняно з традиційними методами?

19. Яке обладнання найчастіше використовується для гібридного виробництва?

20. У яких галузях найчастіше застосовується гібридне виробництво?

21. Які з технологій виготовлення використовуються в гібридному виробництві?

22. Що таке 4D-друк і чим він відрізняється від 3D-друку?

23. Які матеріали використовуються у 4D-друку для забезпечення зміни форми з часом?

24. Які зовнішні фактори можуть викликати трансформацію 4D-надрукованих об'єктів?

25. У яких галузях найчастіше застосовується технологія 4D-друку?

26. Яка головна перевага 4D-друку порівняно з традиційним 3D-друком?

27. Проаналізуйте основні завдання та перспективи застосування адитивних технологій.

28. Наведіть приклади застосування адитивних технологій у різних галузях промисловості та сферах людського життя в Україні та за кордоном.

29. Які нагальні проблеми сьогодення можливо вирішити за допомогою адитивних технологій?

30. Наведіть класифікацію принтерів за принципом друку. Які особливості мають різні способи двовимірного друку? Поясніть на прикладі.

31. Проаналізуйте сутність та особливості друку за допомогою матричного принтеру.

32. У чому полягає принцип роботи друкувальної голівки матричного принтеру? Які різновиди друкувальних голівок Ви знаєте?

33. Поясніть принцип друку за допомогою струменевого принтеру.

34. У чому полягають особливості п'єзоелектричного і термічного способу нанесення краски при струменевому друку?

35. Проаналізуйте принцип друку за допомогою лазерного принтеру.

36. Назвіть та проаналізуйте основні етапи друку на лазерному принтері.

37. У чому полягає сутність сублімаційного друку?

38. Проаналізуйте сутність технології друку на твердочорнильному принтері. Які матеріали використовуються для друку?

39. У чому полягають особливості твердочорнильних принтерів?
40. Наведіть основні історичні етапи розвитку 3D принтерів.
41. Проаналізуйте сутність процесу 3D друку.
42. Проаналізуйте способи 3D друку різними матеріалами. У чому полягають їх особливості, переваги та недоліки?
43. Наведіть приклади останніх досягнень використання 3D друку у різних сферах та галузях.
44. Проаналізуйте приклади застосування адитивних технологій у таких сферах як медицина, архітектура, будівництво.
45. У чому полягають переваги і недоліки використання адитивних технологій у різних сферах та галузях? Наведіть приклади.
46. Проаналізуйте перспективи розвитку адитивних технологій в Україні.
47. У чому полягають особливості застосування 3D принтерів на виробництві та у побуті?
48. Наведіть кінематичну схему та поясніть принцип роботи 3D принтера для будівництва бетоном виробництва CyBe Construction.
49. У чому полягають відмінності будівництва будівель традиційним способом та із застосуванням адитивних технологій?
50. Проаналізуйте переваги та недоліки будівництва будівель бетоном за допомогою 3D принтера.
51. Проаналізуйте перспективи розвитку адитивних технологій в галузі будівництва на теренах України.
52. Назвіть та проаналізуйте особливості, технічні характеристики, переваги та недоліки побутових 3D принтерів різних виробників.
53. У чому полягають особливості експлуатації побутових 3D принтерів?
54. Наведіть приклади найпоширеніших несправностей під час експлуатації побутових 3D принтерів.
55. Проаналізуйте спосіб 3D друку з застосуванням SLA технології.
56. У чому полягають особливості друку за SLA технологією?
57. Проаналізуйте основні операції 3D друку деталей з застосуванням SLA технології.
58. Наведіть структурну схему та проаналізуйте процес друку деталей із використанням SLA технології.
59. Проаналізуйте властивості фотополімерних матеріалів та деталей, що з них надруковані.
60. Поясніть принцип 3D друку деталей із застосуванням DLP технології.
61. У чому полягають відмінності SLA та DLP технологій 3D друку?
62. Проаналізуйте сутність 3D друку з застосуванням SLS технології.
63. Назвіть відмінності SLS та SLA технологій.
64. Наведіть структурну схему друку за SLS технологією. Проаналізуйте основні етапи 3D друку деталей.
65. У чому полягають особливості, переваги та недоліки SLS технології?
66. Проаналізуйте властивості матеріалів та деталей, що виготовлені за SLS та SLA технологіями.
67. Поясніть принцип створення металевих деталей за допомогою DMLS тех-

нології.

68. Проаналізуйте спосіб 3D друку з застосуванням LOM технології.

69. Проаналізуйте основні операції 3D друку деталей з застосуванням LOM технології.

70. У чому полягають особливості друку за LOM технологією?

71. Наведіть структурну схему та проаналізуйте процес друку деталей із використанням LOM технології.

72. Назвіть та проаналізуйте властивості матеріалів та деталей, що надруковані за допомогою LOM технології.

73. У чому полягає відмінність LOM технології від SLA і SLS технологій?

74. У чому полягають особливості друку та постобробки деталей, що надруковані за допомогою LOM технології?

75. Проаналізуйте спосіб 3D друку з застосуванням FDM технології.

76. Проаналізуйте основні операції 3D друку деталей з застосуванням FDM технології.

77. У чому полягають особливості друку за FDM технологією?

78. Наведіть структурну схему та проаналізуйте процес друку деталей із використанням FDM технології.

79. Назвіть найбільш поширені пластики для FDM технології.

80. Проаналізуйте механічні, фізичні, хімічні та інші властивості пластиків для FDM технології.

81. Поясніть принцип створення кольорових деталей із застосуванням FDM технології.

82. Проаналізуйте роль проекту RepRap у розвитку адитивних технологій.

83. У чому полягає відмінність FDM технології від SLA, SLS та LOM технологій?

84. Проаналізуйте стан та перспективи розвитку 3D друку за FDM технологією в Україні.

85. Наведіть класифікацію адитивних технологій виготовлення деталей з металу.

86. Проаналізуйте існуючі технології 3D друку металом.

87. У чому полягає сутність виготовлення деталей з металу за допомогою технології розплавлення порошкового шару та її різновидів?

88. Поясніть принцип виготовлення деталей з металу за допомогою технології осадження спрямованою енергією та її різновидів.

89. У чому полягають особливості технологій нанесення струменем сполучної речовини та нанесення струменем матеріалу?

90. Проаналізуйте сутність операції інфільтрації.

91. Наведіть приклади застосування адитивних технологій виготовлення деталей з металу на вітчизняних підприємствах.

92. Наведіть найвідоміші програми з 3D моделювання. У чому полягають їх особливості, схожість та відмінності?

93. Поясніть на прикладі основні операції з 3D моделювання циліндричної деталі у програмі AutoCAD.

94. Поясніть на прикладі основні операції з 3D моделювання плоскої деталі у

програмі КОМПАС 3D.

95. Наведіть у програмі КОМПАС 3D процес створення моделі болту довільної довжини з різьбою М16 згідно стандартів.

96. Що таке програми-слайсери? Для чого вони призначені?

97. Назвіть та проаналізуйте функціональні можливості будь-якої безкоштовної програми-слайсера.

98. У чому полягають особливості застосування, переваги та недоліки програми-слайсера FlashPrint?

99. Покажіть на прикладі основні операції з редагування моделі у вигляді STL файлу у програмі-слайсері FlashPrint.

100. Наведіть алгоритм дій для обробки моделі з елементами, що нависають, у програмі-слайсері FlashPrint.

101. Продемонструйте та проаналізуйте параметри друку 3D моделі.

102. Покажіть на прикладі як з 3D моделі у вигляді STL файлу отримати X3G файл для друку моделі на 3D принтері.

103. Назвіть основні складові 3D принтера Flashforge Creator Pro та поясніть принцип його роботи.

104. Проаналізуйте базові налаштування меню команд 3D принтера Flashforge Creator Pro.

105. Опишіть особливості процесу завантаження та вивантаження пластикової нитки з екструдерів.

106. У чому полягають особливості друку деталей з ABS та PLA пластику?

107. Які дефекти виникають у друкованих деталях? Як їх усунути?

108. Проаналізуйте способи механічної обробки та особливості склеювання деталей з ABS та PLA пластику.

3 КОНТРОЛЬНІ ЗАХОДИ З ПЕРЕВІРКИ ЯКОСТІ ЗАСВОЄННЯ НАВЧАЛЬНОГО МАТЕРІАЛУ ДИСЦИПЛІНИ

На підставі робочої програми дисципліни та вимог навчальної системи організації учбового процесу кафедра розробляє контрольні заходи з перевірки якості засвоєння студентом навчального матеріалу дисципліни.

Контрольні заходи з дисципліни «Smart-технології в машинобудуванні» передбачають наступне.

Контроль успішності студентів здійснюється за результатами:

- усне або письмове опитування з кожної теми;
- захисту звітів про виконання лабораторних робіт;
- екзамену в кінці семестру (за умови виконання вимог навчального проц.);

Склад, обсяг і терміни виконання змістових модулів, на які підрозділяється робоча програма дисципліни, надано у таблиці 3.1.

Для закріплення поточних знань на протязі семестру, до проведення підсумкового контролю, проводяться контрольні заходи (письмове опитування за матеріалами лекцій, що були прочитані), на підставі яких студент отримує попередню оцінку. Слід зазначити, що всі заходи, що плануються, повинні бути складені позитивно. Негативна оцінка з будь якого контрольного заходу свідчить про незасвоєння студентом навчального матеріалу.

Студент, який отримав на модульному контролі незадовільну оцінку або не з'явився на нього, має можливість повторного складання.

Студент, який одержав за результатами контролю позитивні оцінки, виконав всі завдання, що передбачені робочим навчальним планом дисципліни, отримує позитивну оцінку.

Таблиця 3.1- Структура навчальної дисципліни

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин											
	Денна форма						Заочна форма					
	усь- го	у тому числі					усь- го	у тому числі				
		лк	пр	лаб	інд	с.р.		лк	пр	лаб	інд	с.р.
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Змістовий модуль 1.												
Тема 1. Застосування генеративного дизайну у машинобудуванні	14	2		4		8	16	2	2			10
Тема 2. 3D-сканування	10	2				8	10	2				10
Тема 3. Зворотній інжиніринг	14	2		4		8	16	2				10
Тема 4. Адитивні технології у машинобудуванні	10	2				8	10					10
Тема 5. Історія виникнення 3D-друку	14	2		4		8	10					10
Тема 6. Класифікація технологій 3D-друку	12	2				10						
Тема 7. Технологія сте-	16	2		4		10						

реолітографії												
Разом за змістовим модулем 1	90	14		16		60	62	6	2			50

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Змістовий модуль 2.												
Тема 8. Метод селективного лазерного спікання	14	2		4		8	12	2				12
Тема 9. Метод пошарового наплавлення	10	2				8	11	2				11
Тема 10. Технологія струменевої полімеризації	14	2		4		8	10					10
Тема 11. Матеріали для 3D-друку	12	2				8						
Тема 12. Застосування 3D-друку	14	2		4		8						
Тема 13. Гібридне виробництво	12	2				10						
Тема 14. 4D-друк	16	4		2		10	10					10
Разом за змістовим модулем 2	90	16		14		60	43	4				43
Усього годин	180	30		30		120	180	10	2			93

4 РЕКОМЕНДОВАНА ЛІТЕРАТУРА

Надається перелік навчальної та довідникової літератури, що рекомендується при вивченні дисципліни «Адитивні технології». Слід мати на увазі, що джерела, які можуть бути використані, не обмежуються тільки цим переліком.

4.1 Основна література

1. Vinesh Raja, Kiran J. Fernandes. Reverse engineering: an industrial perspective. - London: Springer, 2008. - 242 p
2. Грабченко А.І., Доброскок В.Л. Сучасні технології матеріалізації комп'ютерних моделей: Навч. посібник. – Х.: НТУ "ХПІ", 2009. – 86 с.
3. Адитивні технології : навч. посіб. / Т. Р. Ганєєв, І. О. Прибисько, М. М. Руденко, І. О. Петренко – Чернігів : НУ «Чернігівська політехніка», 2023. – 105 с
4. Пупань Л. І. Постпроцеси адитивних технологій: навч. посібник для студентів спеціальності «Прикладна механіка» денної, заочної та дистанційної форм навчання / Л. І. Пупань. – Харків: НТУ «ХПІ», 2023. – 91 с.
5. Манжілевський О. Д. Сучасні адитивні технології 3D друку. Особливості практичного застосування : навчальний посібник / О. Д. Манжілевський, Р. Д. Іскович-Лотоцький. – Вінниця : ВНТУ, 2021. – 105 с
6. Srivatsan T. S. Additive Manufacturing: Innovations, Advances, and Applications / T. S. Srivatsan, T. S. Sudarshan. – Boca Raton : CRC Press, 2015. – 460 p.
7. Масненко И. В., Стельмах Н. В. Поліпшення механічних властивостей друківаних деталей. – 2018.
8. Griffey, Jason. 3-D The types of 3-D printing / Library Technology Reports, 2017.
9. Пічугіна Ю. В., Максимова Ю. О., Мазур Ю. В. Економіка майбутнього – перспективи розвитку 3D друку в Україні. Регіональна економіка та управління. 2020. №1 (27). С. 65-68.
10. Андрощук Г. О. Адитивні технології: перспективи і проблеми 3D-друку (І частина). Наука, технології, інновації. 2017. № 1. С. 68-77.
11. Андрощук Г. О. Адитивні технології: перспективи і проблеми 3D-друку (II частина) Наука, технології, інновації. 2017. № 2 (2). С. 29-36.
12. Андрощук Г. О., Копил Я. В. 3D-друк в епоху інноваційних технологій: проблеми регулювання. Інтелектуальна власність в Україні. 2016. № 5. С. 17-26.
13. Гречко О. М. Сучасні адитивні технології та 3D-друк. Огляд останніх досягнень в різних сферах людського життя. Вісник Національного технічного університету "ХПІ". Сер. Проблеми удосконалювання електричних машин і апаратів. Теорія і практика. 2019. № 1. С. 63-75.
14. Олексієнко С. В., Прибисько І. О., Ганєєв Т. Р., Ганєєва Т. В. Адитивні технології в архітектурі та містобудуванні. Новітні технології у науковій діяльності і навчальному процесі : зб. тез Всеукр. наук.-практ. конф. студентів, аспірантів та молодих учених, 18-19 берез. 2021 Чернігів : НУ «Чернігівська політехніка», 2021. С. 40-41.
15. Назаркевич Є. Адитивні технології та 3D моделювання в ювелірному мистецтві. Народна творчість та етнологія, 2021, №2(390). С. 113-122.

16. Струтинська О. В. Сучасний стан і перспективи розвитку технологій тривимірного моделювання та друкування. Науковий часопис НПУ імені М. П. Драгоманова. Серія № 2. Комп'ютерно-орієнтовані системи навчання. 2018. №20(27). С. 88-94.

17. S. Pradhan, S. Kumar, S. Srivastav Canister Satellite Light Weight Chassis Design using Bio Mimicry of Human Skeleton. International Journal of Scientific Research in Science, Engineering and Technology. 2023. Vol. 10(5). P. 1-9.

18. 3D друк в умовах біомедичного використання [Електронний ресурс] : конспект лекцій з дисципліни «3D друк в умовах біомедичного використання» для студентів спеціальності 163 «Біомедична інженерія» денної та заочної форм навчання / уклад. Б. В. Єфременко. – Маріуполь: ДВНЗ «ПДТУ», 2019. – 56 с.

4.2 Додаткова література

19. Масючок О.П., Юрженко М.В., Колісник Р.В., Кораб М.Г. Адитивні технології полімерних матеріалів. Автоматичне зварювання. 2020. №5. С.53-60. DOI: <https://doi.org/10.37434/as2020.05.08>.

20. Василюшин Т., Сорочинський Є. Застосування генеративного дизайну в проєктуванні будівельних конструкцій. Матеріали VI Міжнародної студентської науково-технічної конференції «Природничі та гуманітарні науки. Актуальні питання», 2023, с. 36-37.

21. Díaz, G., Herrera R. F., Muñoz-La Rivera F. C., Atencio E. (2021). Applications of generative design in structural engineering. Revista ingeniería de construcción, 36(1), 29–47. DOI: 10.4067/s0718-50732021000100029

22. Гривюк О. Технології 3D сканування. Інформаційно-комп'ютерні технології–2018, 2018, 9: 242-245.

23. Топчій Н.В. 3D-сканери. принципи роботи та аналіз сучасного стану. Вчені записки, 2024, 6202425.

24. Солнцев О., Сапон С. Обладнання для гібридних технологій формоутворення виробів з полімерних матеріалів. Технічні науки та технології, 2023, Т. 3(33): С. 9-22.

25. Габовда О.В. Аналіз сучасного стану гібридного адитивного виробництва та перспективийого впровадження в Україні. Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки, 2023, Т. 34(1), С. 1-8

26. Тарасюк Г. М., Чагайда А. О. Проєктування харчових продуктів з використанням технології 3D-і 4D-друку та його значення для розвитку адитивного виробництва. Економіка, управління та адміністрування, 2024, Т. 4 (110): С. 18-24.

27. Kantaros A., Ganetsos T., Piromalis, D. 4D printing: technology overview and smart materials utilized. Journal of Mechatronics and Robotics, 2023, Vol. 7(1), P. 1-14.

28. Diegel O., Nordin A., Motte D. Additive Manufacturing Technologies. A Practical Guide to Design for Additive Manufacturing, P. 19–39. DOI: 10.1007/978-981-13-8281-9_2.

29. Dilberoglu U. M., Gharehpapagh B., Yaman U., Dolen M. The role of additive manufacturing in the era of Industry 4.0. Procedia Manufacturing, 2017. Vol. 11. P. 545–554. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2017.07.148>

30. Sanjay S., Guha P. M. Optimization of Binder Jetting Using Taguchi Method. Journal of the Minerals, Metals & Materials Society, 2017. Vol. 69, No3. DOI: 10.1007/s11837-016-2231-4.
31. Beth E. Carroll, Todd A. Palmer, Allison M. Beese Anisotropic tensile behavior of Ti–6Al–4V components fabricated with directed energy deposition additive manufacturing. Acta Materialia, 2015. Vol. 87, P. 309–320. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.actamat.2014.12.054>
32. Svetlizky D., Das M., Zheng B., Vyatskikh A. L., Bose S., Bandyopadhyay A., Schoenung J. M., Lavernia E. J., Eliaz N. Directed energy deposition (DED) additive manufacturing: Physical characteristics, defects, challenges and applications. Materials Today, 2021. Vol. 49, P.271–295. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mattod.2021.03.020>
33. Perez M., Carou D., Rubio E. M., Teti R. Current advances in additive manufacturing. Procedia Cirp, 2020, Vol. 88, P. 439-444 DOI: <https://doi.org/10.1016/j.procir.2020.05.076>
34. Colosimo B. M., Qiang H., Tirthankar D., Tsung, Fugee Opportunities and challenges of quality engineering for additive manufacturing. Quality Engineering for Advanced Manufacturing, 2018. Vol. 50, Is. 3. DOI: <https://doi.org/10.1080/00224065.2018.1487726>
35. Singh S., Ramakrishna S., Berto F. 3D Printing of polymer composites: A short review. MDPS, 2020. Vol. 2, P. 97. DOI: <https://doi.org/10.1002/mdp2.97>

4.3 Навчально-методична література

36. Тексти (конспект) лекцій з дисципліни «Smart-технології в машинобудуванні» для студентів всіх форм навчання спеціальності G9 «Прикладна механіка» спеціалізації «Технології машинобудування» галузі знань G «Інженерія, виробництво та будівництво» / Укл. П.Р. Тришин – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2025. – 85 с.
37. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт з дисципліни «Smart-технології в машинобудуванні» для студентів всіх форм навчання спеціальності G9 «Прикладна механіка» спеціалізації «Технології машинобудування» галузі знань G «Інженерія, виробництво та будівництво» / Укл. ст. викл. Тришин П.Р. – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2025 – 75 с.

4.4 Інформаційні ресурси

38. Hybrid Manufacturing & The Future of 3D Printing for Production [Елек-тронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.engineering.com/hybrid-manufacturing-the-future-of-3d-printing-for-production/> (дата звернення: 19.05.2025). – Назва з екрана.
39. What is hybrid manufacturing? [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.3dsculplab.xyz/Blog/post/What-is-hybrid-manufacturing> (дата звернення: 19.05.2025). – Назва з екрана.
40. LUMEX Avance-60 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.lumex-matsuura.com/english/lumex-avance-60> (дата звернення: 19.05.2025). – Назва з екрана.
41. Directed Energy Deposition through Powder Nozzle Select series [Елек-тронний ресурс]. – Режим доступу: <https://en.dmgmori.com/products/machines/additive->

[manufacturing/powder-nozzle/lasertec-65-ded-hybrid](#) (дата звернення: 19.05.2025). – Назва з екрана.

42. Top 5 Generative Design Tools of 2022 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.archistar.ai/blog/top-5-generative-design-tools-of-2022/#popup-id-31813> (дата звернення: 12.05.2025). – Назва з екрана.

43. The Best Generative Design Software in 2024 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://all3dp.com/1/the-best-generative-design-software/> (дата звернення: 12.05.2025). – Назва з екрана.

44. Featured: Applying cutting-edge generative design in NASA & ESA's Mars Sample Return Mission [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.thenewtoncorp.com/news/generative-design-mars-sample-return-mission> (дата звернення: 12.05.2025). – Назва з екрана.

45. What to Expect from a Personalized Knee or Hip Replacement [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.conformis.com/personalized-knee-and-hip-implants/> (дата звернення: 12.05.2025). – Назва з екрана.

46. MSC Apex Generative Design [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://hexagon.com/fr/products/msc-apex-generative-design> (дата звернення: 12.05.2025). – Назва з екрана.

47. Product design and manufacturing [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.autodesk.com/design-make/pdm> (дата звернення: 12.05.2025). – Назва з екрана.

48. Fishing Pliers Reimagined With Generative Design [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://all3dp.com/4/fishing-pliers-reimagined-with-generative-design/> (дата звернення: 12.05.2025). – Назва з екрана.

49. Automated CAE for rear axle concepts [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.synera.io/focused-case-study/automated-cae-for-rear-axle-concepts> (дата звернення: 12.05.2025). – Назва з екрана.